

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Бондаренка Олега Євгенійовича
на тему *«Удосконалення масової ефективності силових елементів
ракетних двигунів»*,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 Механічна інженерія
за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Актуальність теми дисертації

Сучасна ракетно-космічна галузь поєднує в собі інноваційні та нові методи виготовлення тих чи інших агрегатів та вузлів. Широке використання адитивних технологій у ракетній техніці значно покращило галузь в цілому. Також слід відзначити і популярність використання композитних матеріалів. З огляду на зростання конкуренції на сучасному ринку виробів ракетно-космічної техніки, актуальним є питання максимального здешевлення процесу її виробництва. Зокрема, ракетний двигун традиційно є одним з найбільш витратних і технологічно вимогливих вузлів ракети, що в принципі, зводить задачу здешевлення ракетного виробництва до освоєння нових, більш технологічних і менш витратних підходів до виготовлення елементів конструкції РРД. Одним з таких методів є використання відносно нового способу отримання деталей шляхом пошарового сплаву тонких шарів металевого порошку за допомогою впливу на нього потужного лазерного випромінювання. Такий спосіб є частиною методів адитивних технологій і називається SLM (Selective Laser Melting). Водночас критерій мінімуму маси є головним в ракетній техніці і тому удосконалення масової ефективності силових елементів є пріоритетною задачею для інженерів.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

Структура дисертаційної роботи складається з вступу, анотації українською та англійською мовами, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертації 118 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету і основні задачі дисертаційного дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, описано методи, які були використані у дослідженнях і особистий внесок здобувача.

У першому розділі поставлено за мету проаналізувати існуючі методи підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій силових елементів ракетних двигунів.

У другому розділі було розглянуто існуючі методи вирішення задачі про підвищення експлуатаційних характеристик силових елементів та надано визначення кожному з них. Розглянуто можливості та технології для виготовлення тих чи інших агрегатів та вузлів двигунів. Розглянуто топологічну оптимізацію в ракетній техніці, описано цільові функції та на прикладі одного з методів топологічної оптимізації SIMP показано методику його реалізації. Також проаналізовано методику для розрахунку композитного корпусу ракетного двигуна на ракетному паливі.

Третій розділ присвячено вирішенню задачі підвищення експлуатаційних характеристик за допомогою CAE систем. Продемонстровано готовий алгоритм для топологічної оптимізації конструкцій з логічною послідовністю дій. Відповідно до методу скінчених елементів розглянуто моделі щодо пластичності матеріалів з урахуванням їх зміцнення. Також показано особливість задання граничних умов та навантажень для топологічної оптимізації.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації результатів дослідження, а саме виконано верифікаційний розрахунок балону високого тиску, що виготовлений 3D-друком, на тримкість. Результати випробувань на

тримкість показали розбіжність з розрахунковими даними 5%, що є в межах допустимої похибки. Далі продемонстровано цілком реальний приклад топологічно оптимізованого кронштейну кріплення двигуна, який було виготовлено та виконано статичні вогневі випробування у складі двигунної установки, що показали здатність кронштейну витримувати експлуатаційні навантаження. Проведено топологічну оптимізацію силової рами розгінного блоку двигуна, що за чисельним моделюванням має достатній запас за міцністю. Показано також результати чисельного моделювання композитного корпусу ракетного двигуна на твердому паливі та надано практичні рекомендації при проектуванні таких конструкцій.

Висновки за результатами виконання дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Перелік використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Результати перевірки дисертаційної роботи за допомогою спеціалізованої програми Unicheck на відсутність плагіату, дозволяє зробити висновок, що дисертаційна робота Бондаренка Олега Євгенійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Достовірність отриманих результатів обґрунтована:

- низкою випробувань виробів;
- апробацією отриманих наукових результатів на 3 міжнародних науково-практичних конференціях;
- публікацією статей в провідних фахових виданнях України;
- актом впровадження в ТОВ "ФЛАЙТ КОНТРОЛ" (Flight Control LLC).

Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

Результати наукового дослідження та висновки дисертації пройшли апробацію під час представлення на міжнародних конференціях та знайшли відображення в публікаціях у фахових виданнях. Наукові результати дисертації висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України. Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових міжнародних фахових конференціях.

Автором дисертаційної роботи було отримано наступні наукові результати:

Уперше проведена оптимізація геометрії кронштейнів кріплення, силових рам для реальних конструкцій РРД малої тяги для розгінного блоку, які у складі двигуна пройшли ряд вогневих випробувань. Доведено, що граничні умови, які встановлюються при топологічній оптимізації конструкції елементів, залежать від типу навантаження і особливостей зони прикладення навантаження. Удосконалено та визначено закономірності впливу зон концентрації напружень на експлуатаційні характеристики деталей, виготовлених з використанням методу SLM 3D-друку, що дозволяє розширити області застосування адитивної технології.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність результатів роботи полягає у тому, що в ній запропоновано готовий алгоритм для роботи з конструкціями, які необхідно топологічно оптимізувати.

Практичне значення полягає в наступному:

- розроблена, експериментально та практично підтверджена нова методика топологічної оптимізації у вигляді структурованого алгоритму, за

якою можна забезпечити удосконалення масової ефективності силових елементів конструкції двигунних установок ще на етапі проектування для подальшого виготовленням адитивними методами. *Вперше* одержані конструктивні елементи, які підтверджують раціональність використання цієї методики на виробництві;

- запропоновано новий підхід до інтеграції чисельного моделювання у середовищі CAE Discovery Live в процеси технологічної підготовки виробництва елементів конструкцій двигунних установок із застосуванням адитивних технологій, який *вперше* впроваджений та реалізований на виробничій базі FlightControl Propulsion;

- виконано дослідження можливості топологічної оптимізації елементів конструкції двигунних установок, виготовлених із композиційних матеріалів, на основі яких *вперше* запропонована методика для підвищення масової досконалості композитних конструкцій, ефективність якої підтверджена під час чисельного моделювання ракетного двигуна на твердому паливі.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні, про що свідчить висновок перевірки на плагіат за допомогою спеціалізованої сервісної програми Unicheck.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. В роботі не проведено порівняння конструкцій отриманих за допомогою адитивних технологій та конструкцій виготовлених з композитних матеріалів, що можна було б зробити на прикладі силової рами.

2. В роботі не продемонстровано вплив якості розрахункової сітки на процес проведення топологічної оптимізації.

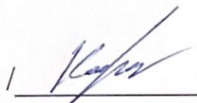
Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Бондаренка Олега Євгенійовича на тему «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів» представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка (галузь знань 13 Механічна інженерія) є актуальною, завершеною науковою працею, що виконана на високому науково-технічному рівні з доступно викладеним матеріалом та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого, розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань Механічна інженерія. Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну цінність результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Віддаючи належне здобуткам дисертаційного дослідження, здобувач Бондаренко Олег Євгенійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Офіційний рецензент:

Доцентка кафедри ракетно-космічних
та інноваційних технологій
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
кандидатка технічних наук, доцентка

/  / Олена КАРПОВИЧ
«___» _____ 20__ року

Підпис доцентки Олени Карпович
засвідчую:

Проректор з наукової роботи

Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
кандидат біологічних наук, доцент



/ Олег МАРЕНКОВ
«___» _____ 20__ року